

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 23320061152626

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 FH-CDMA 的水声网络  
通信系统中信号同步与检测研究

Researching on Signal Synchronization and Detection in  
Underwater Communication Network Based on FH-CDMA

庄 子 明

指导教师姓名: 程 恩 教 授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2009 年 月

论文答辩时间: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘 要

近年来,水声通信网络引起了各国的极大关注,成为国际水声技术领域研究的热点课题。水声信道是一个十分复杂的变参随机多径传输的信道,所以实现误码率低、数据率高的水声通信仍是很困难的技术。因此,在高误码率、低速率、大延时的水声通信的基础上,构建合理、快速、低功耗的水声网络更是水声技术领域中的一个极具挑战性的复杂研究课题。

本文针对浅海水声网络通信中数据传输的需要,研究了一种行之有效的网络跳频同步系统,使得同步建立快、精度高、抗干扰性能好,可靠性高而且容易实现,并且能在低信噪比的情况下进行微弱同步信号的检测。

文中首先分析了浅海水声信道的特性,并建立了水声信道模型;阐述了扩频通信尤其是跳频通信的基本原理,分析了现有的各种跳频系统同步方式在水声信道中的适用性;在此基础上,研究了时频同步法和线性调频同步法两种跳频同步方案,以及帧同步和弱信号检测方法,给出了相应的仿真结果;此外,本文提出了时频结合线性调频同步的新方案,该方案融合了时频同步和线性调频同步的优点,适用于浅海水声信道中水声通信网络跳频系统的同步。

最后,本文研究了基于 FH-CDMA 的水声网络跳频通信系统中,信号同步与检测系统的实现。采用软件无线电方式,在嵌入式微处理器和 FPGA 芯片构成的硬件平台上,构建了水声跳频系统,并且实现了系统的跳频同步、帧同步和数据接收,给出了具体实现的原理框图。通过实验室水池中的试验,证实该系统能够在微弱信号情况下实现快速、准确、有效的同步检测,并具有较高的可靠性和可扩展性,能够满足水声网络跳频通信系统的要求,达到预期目标。

**关键词:** 水声通信; 跳频同步; 软件无线电

## Abstract

Recently, underwater communication network has attracted significant attention of many countries, and becomes research focus of international underwater acoustic (UWA) technology field. The UWA channel is a complex random channel, which has variable parameter and multi-path transmission. So it is difficult to realize the UWA communication with low BER and high data rate. Hence, building a proper, rapid and low power dissipation UWA network, which is based on UWA communication technology with high BER, low data rate and long time-delay, is a more challenging and complex subject in UWA technology field.

According to the need of data transmission in shallow water acoustic network communication, this thesis focuses on network frequency-hopping (FH) synchronization system. A synchronization system was designed that makes fast, exact synchronizing and has good performance on anti-interference, reliability and also is easy to realize. Moreover, it can detect the weak synchronization signals in low SNR situation.

Firstly, the paper analyzed the characteristic of SWA channel, and built the UWA channel model; it described the basic principle of spread spectrum communication especially FH communication, then analyzed the applicability of the existing FH system synchronization methods in UWA channel; based on the theory, it discussed the time-frequency synchronization and LFM signal synchronization, and obtained their simulation results, furthermore, it also researched the frame synchronization and weak signal detection; besides, a new scheme of LFM with time-frequency synchronization was proposed that fuse the advantages of time-frequency synchronization and LFM signal synchronization, and it is suitable for the UWA communication network FH system.

In the last part, the implementation of signal synchronization and detection system was presented which is in UWA network FH communication system based on FH-CDMA. It adopts software defined radio manner and its hardware platform is

constituted by embedded microprocessor and FPGA. It realized the FH synchronization, frame synchronization and data receiving of the system, and the principle diagrams of implementation were given. The performance of the system was investigated in the laboratory's pool. The results indicate that the system can detect the synchronization fast, accurately and effectively while the signals are weak, and it has high reliability and expansibility. The results prove that the system can meet the demand of FH communication system in UWA network, so the objective of the research has been achieved.

**Key Words:** Underwater Acoustic Communication; Frequency Hopping Synchronization; Software Defined Radio

## 目 录

<b>第 1 章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 选题背景及研究意义	1
1.2 水声通信网络发展现状	2
1.2.1 美国的相关项目	3
1.2.2 欧洲的相关项目	6
1.2.3 国内研究进展	6
1.3 论文结构及主要内容	7
<b>第 2 章 浅海水声信道</b>	<b>8</b>
2.1 浅海水声信道对信息传输的影响	8
2.1.1 声波传输损耗的影响	8
2.1.2 海洋环境噪声的影响	9
2.1.3 多径传输的影响	10
2.1.4 多普勒效应的影响	10
2.2 浅海水声信道建模与仿真	10
2.2.1 浅海水声信道模型	11
2.2.2 N 径确定性模型	11
2.2.3 随机统计模型	14
2.3 本章小结	16
<b>第 3 章 水声跳频通信系统</b>	<b>17</b>
3.1 扩频通信系统	17
3.1.1 扩频系统概述	17
3.1.2 跳频通信系统	20
3.1.3 水声通信网络跳频系统设计方案	25
3.2 跳频系统同步原理	26
3.2.1 跳频同步技术	26
3.2.2 帧同步技术	29
3.2.3 网同步技术	29
3.2.4 水声跳频通信系统中的同步	29
3.3 微弱信号调理检测	31
3.3.1 水声信号的调理	31
3.3.2 信号检测	32
3.4 本章小结	34
<b>第 4 章 水下跳频系统同步设计与仿真</b>	<b>35</b>
4.1 水声网络跳频同步的设计方案与仿真	35
4.1.1 时频同步法	35
4.1.2 线性调频同步法	40
4.1.3 时频结合线性调频信号同步法	44
4.2 帧同步的设计与仿真	45

4.2.1 帧同步设计.....	45
4.2.2 仿真结果.....	46
4.3 本章小结 .....	47
<b>第 5 章 信号同步与检测的实现 .....</b>	<b>48</b>
5.1 水声网络通信系统的实施方案 .....	48
5.1.1 系统硬件平台.....	49
5.1.2 软件平台介绍.....	52
5.1.3 总体设计方案.....	55
5.2 同步的实现 .....	59
5.2.1 跳频同步模块的实现.....	59
5.2.2 帧同步模块的实现.....	67
5.3 数据接收模块实现 .....	69
5.4 仿真结果及分析 .....	72
5.4.1 跳频同步的结果分析.....	73
5.4.2 帧同步的结果分析.....	76
5.4.3 数据接收的结果分析.....	77
5.4.4 结论.....	78
5.5 水池实验结果 .....	79
5.6 本章小结 .....	81
<b>第 6 章 总结与展望 .....</b>	<b>82</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>84</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>86</b>



# Contents

<b>Chapter 1 Preface.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Research Background.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Underwater Acoustic Communication Overview.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Projects in USA.....	3
1.2.2 Projects in Europe .....	6
1.2.3 Domestic Current Situation.....	6
<b>1.3 Structure of the Thesis .....</b>	<b>7</b>
<b>Chapter 2 Shallow-water Acoustic Channel.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 The Effects on Data Transmission SWA Channel .....</b>	<b>8</b>
2.1.1 The Effects of Sound Wave Transmission Loss.....	8
2.1.2 The Effects of the Noise in Marine Environment .....	9
2.1.3 The Effects of the Multi-path Transmission .....	10
2.1.4 The Effects of Doppler Frequency Shift .....	10
<b>2.2 SWA Channel Modeling and Simulation .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 SWA Channel Model.....	11
2.2.2 N-path Deterministic Model .....	11
2.2.3 Random Staticstical Model .....	14
<b>2.3 Summary .....</b>	<b>16</b>
<b>Chapter 3 UWA FH Communication System.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Spread Spectrum Communication System .....</b>	<b>17</b>
3.1.1 Spread Spectrum System Summary .....	17
3.1.2 FH Communication System .....	20
3.1.3 The Design of FH System in UWA Network.....	25
<b>3.2 The Principle of Synchronization in FH System .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 FH Synchronization Technology .....	26
3.2.2 Frame Synchronization Technology .....	29
3.2.3 Network Synchronization Technology.....	29
3.2.4 Synchronization of UWA FH Communication System .....	29
<b>3.3 Weak Signal Conditioning and Detection .....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Conditioning of Underwater Weak Signal .....	31
3.3.2 Signal Detection.....	32
<b>3.4 Summary.....</b>	<b>34</b>
<b>Chapter 4 Design and Simulation of UWA FH Communication</b>	
<b>System Synchronization .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Scheme and Simulation of UWA Network FH Synchronization.....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Time-frequency Synchronization.....	35
4.1.2 LFM Signal Synchronization .....	40

4.1.3 LFM with Time-frequency Synchronization .....	44
<b>4.2 Design and Simulation of Frame Synchronization .....</b>	<b>45</b>
4.2.1 Design of Frame Synchronization .....	45
4.2.2 Simulation Results .....	46
<b>4.3 Summary.....</b>	<b>47</b>
<b>Chapter 5 The Implementation of Signal Synchronization and</b>	
<b>Detection .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1 Implementation of UWA Network Communication System .....</b>	<b>48</b>
5.1.1 System Hardware Platform .....	49
5.1.2 Software Platform Summary.....	52
5.1.3 System Design Scheme.....	55
<b>5.2 Synchronization Implementation .....</b>	<b>59</b>
5.2.1 Implementation of FH Synchronization Module .....	59
5.2.2 Implementation of Frame Synchronization Module .....	67
<b>5.3 Implementation of Data Receiving Module.....</b>	<b>69</b>
<b>5.4 The Results and Analysis of Simulation.....</b>	<b>72</b>
5.4.1 The Analysis of FH Synchronization Results .....	73
5.4.2 The Analysis of Frame Synchronization Results .....	76
5.4.3 The Analysis of Data Receiving Results.....	77
5.4.4 Conclusion .....	78
<b>5.5 Results of Experiment in Pool.....</b>	<b>79</b>
<b>5.6 Summary.....</b>	<b>81</b>
<b>Chapter 6 Summary and Forecast .....</b>	<b>82</b>
<b>References .....</b>	<b>84</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>86</b>

## 第1章 绪论

从古至今，在人们的生活中，信息的传输和交换都起到了举足轻重的作用，从古代的击鼓鸣金、烽火传信、飞鸽传书到现代的电报、电话、无线电台，这些信息传递的方式我们都可以称之为通信。现代科学日新月异，通信的方式也发生了巨大的变化，如：移动通信、微波通信、光纤通信、卫星通信、网络通信等。

在地面和空中通信领域迅猛发展的同时，海底水下通信也引起了研究人员的关注。经过尝试，人们发现以往地面和空中的通信方式并不完全适用于水下通信。首先，有线方式的信息传输由于目标活动范围受限制、通信缆道的安装和维护费用高昂、对其它海洋活动可能存在影响等缺点，极大地限制了它在海洋环境中的应用；另外，由于在海水中，光波、电磁波的传播衰减都非常大，因而它们在海水中的传播距离十分有限，远不能满足人类海洋活动的需要。而声信号能在水中传播几十甚至几百公里的距离，因此采用声波作为信息传送的载体是目前海底实现中、远距离无线通信的唯一手段<sup>[1]</sup>。

### 1.1 选题背景及研究意义

水声通信技术是水声技术领域中的一个极具挑战性的复杂研究课题。由于水声信道是一个十分复杂的变参随机多径传输的信道，加上它的环境噪声高、带宽窄、可适用的载波频率低、传输的时延大等特点，这诸多不利因素加剧了抗多径干扰的困难。实现误码率低，数据率高的水声通信仍是很困难的技术。在所有的水声信道中，浅海的水声信道通常又被认为是最为复杂和困难的通信信道。特别是浅海声信道随机起伏和多径特征使得浅海水声通信技术成为当代最复杂的通信技术之一。

在复杂的浅海水声通信中，远程水声通信主要采用扩频通信技术，跳频通信作为扩频通信的一种重要方式，具有很强的抗多径干扰能力，能够很好地解决水声通信中的多径问题。此外，跳频通信系统还具有抗窄带干扰、抗噪声、易于组网、易兼容，以及保密性和易于实现码分多址等特点，使得跳频通信在水声通信应用中受到极大的重视。

同步问题是跳频通信系统的关键。对跳频系统来说,同步就是收、发两端的频率必须具有相同的变化规律,即每次跳变频率上有确切严格的对应关系。同步与否,关系着跳频通信系统能否正常工作,同步的稳定性将直接影响着整个系统的抗干扰能力和数据信号检测性能。同步是一个系统有序工作的有效保证。虽然实现同步要耗费一定的系统代价,但是为了提高系统性能,系统设计还是需要很高的同步性能。

因此,在干扰十分严重的水声环境下,尤其是对于水声网络,面临着一个信号在低信噪比的情况下,如何实现快速、准确、有效的同步检测的问题,这是研究水声网络过程中一个迫切需要解决的问题。着重研究水声网络跳频系统的同步,是开发高性能水声网络通信系统的基础。

近年来,水声通信网络引起了各个国家的极大关注,成为国际水声技术领域研究的热点课题。本论文针对浅海水声网络通信中数据传输的需要,目标是研究一种行之有效的同步系统,使得同步建立快、精度高、抗干扰性能好,可靠性高而且容易实现,并且能在低信噪比的情况下进行微弱同步信号的检测。

## 1.2 水声通信网络发展现状

水声通信网络的研究起步于 20 世纪 90 年代。进入 21 世纪后,水声通信网络引起了各个国家的极大关注,美国和欧洲等相继启动了许多关于水下网络的研究计划,投入了大量的人力、物力进行水声通信网络的技术研究。这些研究主要分为水声调制解调器和组网通信技术两方面进行。

首先,随着电子技术和 DSP 技术的快速发展,以水声调制解调器为典型的规范化产品的开发和应用正得到重视和逐步投入应用。例如:①美国国际水下公司为潜水员开发的 8 通道水下无线对讲机 SSB-1001B 和 STX-101M 系统,无需手的操作,可在潜泳的同时进行语音通信,现已装备美国海军和英国皇家海军;②新开发的 MAGNACOM 系统通信距离可达 5 英里;③Datasonics 公司的 ATM800 系列通信速率 1200bit/s,通信距离 10km;④Newcastle 大学开发的 AM200 水声调制解调器可直接与计算机串口相连,以 9600, 19200 的速率在 2 公里的范围内通信;⑤LinkQuset 公司 UWM 系列产品与 AM200 有相似的功能,其中 UWM7000 在通信速率 5500bit/s 时,通信距离可达 7 公里。

其次,国外近年来在水声通信网方面进行了大量的研究工作,在相关的方案验证、仿真工作的基础上已经开始了水声通信网的海上实验工作。其中,最先开展水声通信网络研究的是美国 Northeastern 大学的 Ethem M.Sozer, Milica Stojanovic 和 John G.Proakis<sup>[2]</sup>。他们最早提出了水声组网通信的概念,在论文中详细描述了水声网络的设计原理,探讨了网络的多路访问、媒体接入、自动重传请求 (ARQ) 以及路由选择方法。而且给出了一个浅海水声网络的设计实例,确定了能耗最小的网络拓扑,提出了基于避碰多路访问协议 (MACA) 的媒体接入方法。利用 OPNET 仿真工具测试了这种网络性能,并对标准无线电信道模型进行了修改,以便与浅海水声信道特性匹配。该实例提供了一种性能评估的方法。最后,论文还探讨了水声网络领域未来的研究方向。

### 1.2.1 美国的相关项目

#### (1) AOSN

AOSN (Autonomous Ocean Sampling Network) 项目是一个以 MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Institute) 为首联合多个研究机构进行多学科研究的项目,它的目标是开发一个以 AUV (Autonomous Underwater Vehicles) 作为移动传感平台的智能水下采集网络<sup>[3]</sup>。

AOSN 项目共进行了三次的现场试验。2000 年 8 月,在美国加州的蒙特利海湾进行了 MUSE (MOOS Upper-Water-Column Science Experiment) 试验。MUSE 作为 AOSN 项目的第一次试验,为建立一个长期海洋观测网络奠定了基础,并提供了物理学、化学、生物学和地质学方面的重要资料。此后,该项目在 2003 年、2006 年又进行了两次现场试验,均取得了成功。

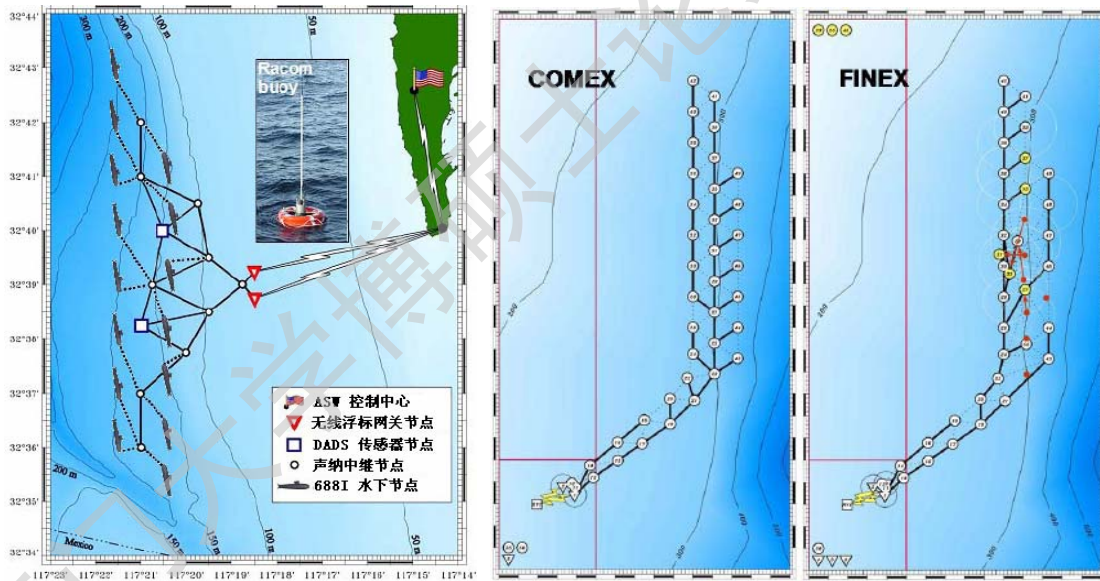
#### (2) DADS

DADS (Deployable Autonomous Distributed System) 是由 ONR 发起的一个探测性研究计划,实现关键海区大范围水下预警,由 SSC (SPAWAR Systems Center) San Diego 着手研究<sup>[4][5]</sup>。SPAWAR 成功演示了一个由 11 个节点构成的 DADS 网络,并且引进固定或者移动的网关将水声信号转化为无线信号来实现水下传感器与控制中心间的卫星通信链路。DADS 网络可以执行水下检测、目标探测及跟踪任务,极大地改进了海上军事应用中的通信和反潜性能。

### (3) Seaweb

Seaweb 是 DADS 计划的一个扩展项目。Seaweb 项目的最初动机是沿岸浅海地区需要借助 DADS 来进行大范围水下监视任务。Seaweb 有组织地为 DADS 提供命令、控制、通信和导航等功能。它使用水下通信声纳调制解调器互连邻近的固定和移动节点，并采用先进的组网协议来完成给定的任务。网络骨干节点是一些静止的自治传感器节点和通信中继节点。外围节点包括 UUVs (Unmanned Undersea Vehicles) 和一些专用设备。网关节点提供到命令中心的接口。

Seaweb 网络节点分布在  $100\text{km}^2 \sim 10000\text{km}^2$  的范围内，其物理层调制方式是 MFSK，使用的频带范围是  $9\text{KHz} \sim 14\text{KHz}$ ，目前的原始符号速率为  $2400\text{bit/s}$ ，其中有效信息速率可以达到  $800\text{bit/s}$ ，当信道条件发生变化时，最多可降低到  $300\text{bit/s}$  [6][7][8][9]。



(a) Seaweb 2001

(b) Seaweb 2004

图 1.1 Seaweb 试验的网络拓扑结构图

到目前为止，Seaweb 已进行了多次海试。图 1.1 给出了 2001 年和 2004 年两次海试的网络拓扑结构图。2001 年 6 月，在圣地亚哥附近海域进行了为期 4 天的实验，网络由 14 个节点组成，实现了首次水下 E-Mail 发送，通过水下声信道从水中潜艇发送到岸上控制中心。在 2004 年的试验中，Seaweb 网络最多节点数已经达到了 40 个，并在恶劣的外界环境影响下展示了良好的可靠性 [10]。

#### (4) FRONT

FRONT (Front-Resolving Observational Network with Telemetry) 项目是由 NOPP (the National Oceanographic Partnership Program) 资助的涉及多学科的一个项目, 以康涅狄格大学的海洋科学研究中心为首进行研究<sup>[11]</sup>。FRONT 试验是用于估计在沿海海域进行海洋预报的可行性。这个试验是把一组设备实时测得的数据输入一个数字海洋观测模型, 来估计这个海洋模型预测的准确性。FRONT 的试验场地是在纽约长岛东南部, 它的目标就是在这样一个动态复杂的环境下开发并测试这个观测系统模型。这个项目的关键是要开发可实时地远程探测海洋速度、温度和盐度结构的一种技术。FRONT 是 Seaweb 的非军事应用, 它采用水下声通信和 Seaweb 组网方法为海洋传感器提供通信、命令和控制, 以实现实时的数据传输<sup>[12]</sup>。

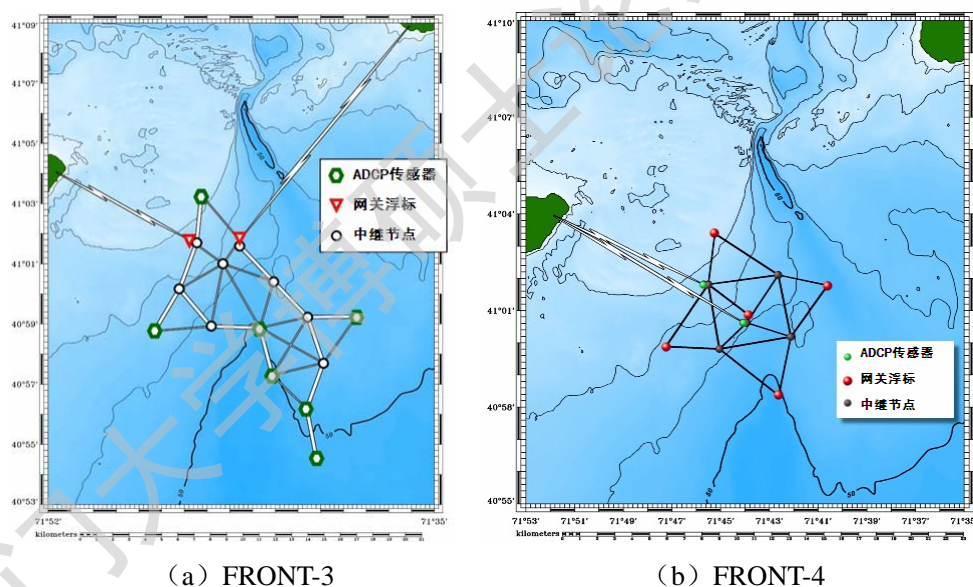


图 1.2 FRONT Seaweb 网络示意图

图 1.2 (a) 是 FRONT-3 的网络结构图, 它包含了两个海面无线电通信网关节点, 7 个海底 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) 传感器节点和 8 个海底的中继节点。这些中继节点用来缩小节点间距并提高整体的服务质量。用加粗的白色线段表示的二进制树路由拓扑结构减小了半双工通信声纳链路的多址接入信道的冲突。结果表明, 网络承载了 85% 的从 ADCP 发送到岸上的数据包, 并且保证了零误码率。



图 1.2 (b) FRONT-4 包括两个 CDPD (Cellular Digital Packet Data) 网关节点, 5 个 ADCP 节点和 5 个中继节点。该网络稳定运行了 6 个月, 能自动收集网络运行状况以提供分析诊断, 接近实时的数据流传输为科学家提供了接近实时的海洋相关数据, 具有重要的意义。

### 1.2.2 欧洲的相关项目

欧共体在 MAST (Marine Science and Technology Programme) III 计划的支持下, 开展了一个系列化的水声通信网络研究计划, 包括: LOTUS Project, SWAN Project, ROBLINKS Project 等。ROBLINKS (Long Range Shallow Water Robust Acoustic Communication Links) 目标是研究浅海中长距离、高数据率的稳健通信算法, 开发新的最佳相关信号处理概念和算法, 引入连续信道辨识技术, 提高通信系统对环境变化的稳健性, 并对算法进行海试验证。SWAN (Shallow Water Acoustic Communication Network) 计划目标是建立浅海水声通信仿真模型, 研究水声通信网络通信协议算法, 提高水声通信网物理层的相关通信技术, 构建浅海水声通信网基础模块, 即 MEMU 阵接收器。LOTUS (Long Range Telemetry in Ultra Shallow Channels) 计划研究超浅信道中的长距离声网络, 其点对点通信距离可达 10km, 载波频率 8KHz, 通信速率最高 4kbit/s<sup>[13][14]</sup>。

ACME (Acoustic Communication network for Monitoring of underwater Environment in coastal areas) Project 是 SWAN 计划的继续。它开始于 2001 年 12 月, 终止于 2003 年 11 月。ACME 计划的目标是开发设计一个适用于浅海水声通信网络的稳健通信和网络协议算法。它的成果是一个工作的水声通信网络原型, 网络中最小节点数 3 个, 水深 6~10 米, 节点距离 200~2000 米, 最高比特率为 1kbit/s。该计划共进行了三次海试<sup>[15]</sup>。

### 1.2.3 国内研究进展

我国水声通信网络的研究刚刚起步。哈尔滨工程大学和东南大学是我国进行该研究较早的单位, 目前仍处于仿真研究阶段, 还没有试验结果的相关报道出现。

中科院声学所对水声通信的物理层进行了研究, 对换能器和声学 Modem 的硬件设计进行了大量的改进, 使水声通信的速率和抗干扰性得到了很大的提高;



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库